

EPO4/8460



REC'D 07 SEP 2004

WIPO

EPO-BERLIN

10-08-2004

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 33 844.6

**Anmeldetag:** 24. Juli 2003

**Anmelder/Inhaber:** NANOTRON Technologies GmbH,  
10555 Berlin/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Übertragen von Symbolen

**IPC:** H 04 B 14/00

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 05. August 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Kahle

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Bremen**  
Patentanwälte  
European Patent Attorneys  
Dipl.-Ing. Günther Eisenführ  
Dipl.-Ing. Dieter K. Speiser  
Dr.-Ing. Werner W. Rabus  
Dipl.-Ing. Jürgen Brügge  
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt  
Dipl.-Ing. Klaus G. Göken  
Jochen Ehlers  
Dipl.-Ing. Mark Andres  
Dipl.-Chem. Dr. Uwe Stilkenböhmer  
Dipl.-Ing. Stephan Keck  
Dipl.-Ing. Johannes M. B. Wasiljeff  
Patentanwalt  
Dipl.-biotechnol. Heiko Sendrowski

Rechtsanwälte  
Ulrich H. Sander  
Christian Splintig  
Sabine Richter  
Harald A. Förster

**Martinistrasse 24**  
**D-28195 Bremen**  
Tel. +49-(0)421-3635 0  
Fax +49-(0)421-3378 788 (G3)  
Fax +49-(0)421-3288 631 (G4)  
mail@eisenfuhr.com  
http://www.eisenfuhr.com

**Hamburg**  
Patentanwalt  
European Patent Attorney  
Dipl.-Phys. Frank Meier

Rechtsanwälte  
Rainer Böhm  
Nicol A. Schrömgens, LL. M.

**München**  
Patentanwälte  
European Patent Attorneys  
Dipl.-Phys. Heinz Nöth  
Dipl.-Wirt.-Ing. Rainer Fritzsche  
Lbm.-Chem. Gabriele Leißler-Ger  
Dipl.-Ing. Olaf Ungerer  
Patentanwalt  
Dipl.-Chem. Dr. Peter Schuler

**Berlin**  
Patentanwälte  
European Patent Attorneys  
Dipl.-Ing. Henning Christiansen  
Dipl.-Ing. Joachim von Oppen  
Dipl.-Ing. Jutta Kaden  
Dipl.-Phys. Dr. Ludger Eckey

**Alicante**  
European Trademark Attorney  
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt

Bremen, 24. Juli 2003  
Unser Zeichen: NA 2288-01DE KGG/dw/esa  
Durchwahl: 0421/36 35 16

Anmelder/Inhaber: NANOTRON Technologies GmbH  
Amtsaktenzeichen: Neuanmeldung

NANOTRON Technologies GmbH  
Alt-Moabit 61, 10555 Berlin

---

## Verfahren zum Übertragen von Symbolen

---

Die allgemeine Übertragungstechnik beschäftigt sich mit der Übertragung von Informationen von einer Nachrichten-Quelle zur Nachrichten-Senke. Das zur Übertragung verwendete Medium wird im allgemeinen als Kanal bezeichnet.

Die einzelnen Kanäle, die in der Nachrichtentechnik verwendet werden, unterscheiden sich dabei wesentlich. Es gibt einfache drahtgebundene Verbindungen, die sich durch wenige Störungen aber begrenzte Bandbreite auszeichnen; drahtlose Verbindungen, die sich durch viele Störungen, Echos und relativ große Bandbreite auszeichnen und es gibt Glasfaserverbindungen mit extrem großen Bandbreiten und geringen Störungen.

Für alle diese Kanäle kann das im folgenden beschriebene Verfahren des Kanalmanagements durch Energiemodulation angewendet werden.

Die oben beschriebenen Kanäle weisen die gemeinsame Eigenschaft auf, dass für deren Nutzung eine zum Teil erhebliche Investition erforderlich ist. Bei kabelgebundenen Systemen ist dies offensichtlich, da die Kabel verlegt werden müssen. Bei drahtlosen Verbindungen muss im Regelfall eine Lizenz für das entsprechende Frequenzband erworben werden.

Der mit dieser Investition erworbene Kanal unterliegt jedoch strengen Beschränkungen. In der Regel ist hier die maximale Leistung vorgegeben, die von der Nachrichten-Quelle ausgesendet werden darf, außerdem ist die maximale Bandbreite vorgegeben.

Die Ressource Kanal ist damit eindeutig limitiert oder wissenschaftlicher ausgedrückt: die Kanalkapazität nach Shannon ist aufgrund der vorgegebenen Beschränkungen im Übertragungskanal stets limitiert.

Mit den verschiedenen Multiplexing-Techniken wird nun versucht, die vorhandene Kanalkapazität auf die einzelnen Teilnehmer in einem LAN, WLAN, GSM-Netz, UMTS-Netz, Telefonnetz, usw. verteilt. Durch die gemeinsame Nutzung der Ressource ist deren wirtschaftliche Verwendung sichergestellt, insbesondere ist es bei großen Netzwerken, wie örtlichen Telefonnetzen nicht sinnvoll, jedem Teilnehmer einen festen Teil der vorhandenen Kanalkapazität zuzuordnen.

Bei allen Multiplexing-Verfahren wird die vorhandene Kanalkapazität aufgeteilt. Bei den klassischen Verfahren TDMA und FDMA erfolgt diese Aufteilung auf der physikalischen Ebene, indem Zeitschlitzes oder Frequenzbänder eingerichtet werden, die verschiedenen Nutzern zugeteilt werden. Außerdem gibt es CDMA Systeme, die diese Aufteilung durch die Kodierung realisieren, indem jedem Nutzer verschiedene, zum Teil orthogonale Codes zugeordnet werden, so dass im Empfänger die Nachricht von den anderen separiert werden kann.

Die Planung und Entwicklung eines solchen Netzwerkes orientiert sich nun an den verschiedenen Kanaleigenschaften, wie zum Beispiel die Optimierung der Zellgröße in einem GSM-Netzwerk in Abhängigkeit von der geographischen Lage und damit der vorhandenen Teilnehmerdichte und der Mehrwege-Bedingung vorgenommen wird. Dabei werden bislang alle Planungen immer auf den Worst-

Case ausgerichtet, d.h. im Netzwerk wird eine maximale Entfernung oder minimale Empfangsleistung (Sensitivity) vorgegeben und das Netz so dimensioniert, dass alle Teilnehmer die gleiche Symbolrate empfangen können.

Damit ist sichergestellt, dass auch das schwächste Glied in der Kette noch hinreichend mit Daten versorgt wird bzw. ein Mindestmaß an Übertragungsqualität sichergestellt ist.

Dass diese Vorgehensweise in fundamentaler Weise die verfügbare Kanalkapazität nach Shannon, und damit eine der grundlegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten ignoriert, ist Grundlage des hier vorliegenden Patentes.

Der Stand der Technik im Gebiet des „intelligenten“ Kanal-Managements soll nun exemplarisch an einigen Beispielen erläutert werden, die einen Überblick über die heute angewendeten Verfahren geben soll, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Anhand dieser Beispiele wird im folgenden schnell deutlich, wie grundlegend sich das neue Patent von den bekannten Verfahren unterscheidet.

#### WLAN Standard 802.11 b

In einem langen Entwicklungsprozess wurde ein Standard für die drahtlose Übertragung von Daten im ISM-Band bei 2.45 GHz entwickelt, der mehr und mehr Bedeutung in der Anwendung findet. Alle Systeme, die versuchen Informationen drahtlos zu übertragen, leiden erheblich unter den schwierigen Kanalbedingungen. Aus diesem Grund wurden hier ausgeklügelte Verfahren entwickelt, die mit einem zum Teil großen Aufwand versuchen, die vorhandene Kanalressource zu nutzen.

In diesen modernen drahtlosen Übertragungsnetzen werden:

- CDMA Sequenzen verwendet, um gegen Mehrwegeausbreitung robust zu sein,
- ggf. RAKE-Receiver eingesetzt, um die Energie der einzelnen Mehrwegepfade optimal zu bündeln,
- fehlerkorrigierende Codes verwendet, um trotz einzelner Fehler im Datenstrom die korrekte Information zu entschlüsseln,

- verschiedene Modulationsarten (BPSK, QPSK, CSK) eingesetzt, um je nach Qualität des Kanals die maximale oder eine den Anforderungen entsprechende Datenrate zu übermitteln.

Einzelne Peer-to-Peer Verbindungen innerhalb eines Netzwerkes können damit, je nach der Qualität des zur Verfügung stehenden Übertragungskanals, die Datenrate den Gegebenheiten anpassen, so dass in einem Netzwerk verschieden schnelle Verbindungen dynamisch aufgebaut werden.

Auf diese Weise entsteht ein flexibles System. Bezogen auf die Eigenschaften des Übertragungskanals ist es damit möglich, entweder die maximale Datenrate von 11 Mbps zu übertragen, oder einen zusätzlichen Faltungscodierung einzusetzen und auf 5.5 Mbps zurückzugehen, oder bei noch schlechteren Kanälen die höherstufige Modulation CSK zu vermeiden und nur mit QPSK oder sogar nur mit BPSK zu übertragen, so dass die Datenraten auf die während der Übertragung verwendete Symbolrate (1 MSps) zurück geht und nur noch 1 Mbps möglich ist.

#### UMTS

Dieser neue Mobilfunkstandard weist ähnliche Eigenschaften auf, wie der Standard 802.11 b. Der Anwendungsfall diktiert hier jedoch etwas modifizierte Rahmenbedingungen. Im WLAN sind wenige Teilnehmer einbezogen, so dass es dort ausreicht, ein sogenanntes „random access protocol“ einzusetzen, bei dem abwechselnd jeder Teilnehmer den gesamten Datenkanal benutzt. In diesem speziellen Fall wird das bekannte CSMA eingesetzt.

Im Mobilfunkbereich ist dies nicht möglich, da eine Vielzahl von Teilnehmern auf eine Basisstation zugreifen möchte. Hierzu wird ein CDMA verwendet, bei dem jeder Teilnehmer einen festen Code dynamisch zugewiesen bekommt. Zusätzlich wird ein „Space-diversity“ angewendet, d.h. die Antennen der Basisstation sind so angeordnet, dass verschiedene Sektoren entstehen, die sich gegenseitig nur gering beeinflussen.

Gemeinsam ist diesen beiden Verfahren, dass schwierige Kanalbedingungen vorliegen und im gleichen Netzwerk die Teilnehmer gravierende Unterschiede in der Empfangsqualität aufweisen können.

Erschwerend kommt beim Mobilfunk noch hinzu, dass die Teilnehmer mobil sind und sich dadurch die Empfangsqualität von einem Moment zum nächsten drastisch ändern kann. Daher weist auch dieser neue Standard ein ausgeklügeltes Management auf, um die vorhandene Ressource Übertragungskanal effizient auszunutzen.

Insbesondere ist hier ein kompliziertes Powermanagement zu erwähnen, mit dem versucht wird, die in der Basisstation empfangene Leistung aller Teilnehmer annähernd gleich zu halten. Dies ist für die Trennung der CDMA Kanäle von entscheidender Bedeutung. Gleichzeitig wird hierbei versucht, alle Teilnehmer in einem Netzwerk auf eine möglichst geringe Sendeleistung abzustimmen.

Der Einsatz von langen CDMA Sequenzen und Rake-Receivern ermöglicht diesem System eine gewisse Robustheit gegen die starke Mehrwegeausbreitung. Dennoch ist die Zellgröße hier stark eingeschränkt im Vergleich zum GSM. Die verwendete Bandbreite ist aufgrund des eingesetzten Spreizverfahrens relativ groß, dennoch verfügt jeder Teilnehmer nur über eine stark reduzierte Datenrate aufgrund der verwendeten CDMA-Sequenzen, die ein Datensymbol repräsentieren.

Die Spreizung erfolgt hier, indem, bezogen auf die vorgegebene Bandbreite, kurze physikalische Symbole definiert werden, die als Chips bezeichnet werden. Die gesendeten Symbole bzw. teilnehmerspezifischen CDMA-Sequenzen erstrecken sich nun über mehrere dieser Chips.

Das so konstruierte System ist starr und garantiert jedem Teilnehmer einer Zelle die Einhaltung der minimalen Übertragungsqualität. Dass dies in modernen Netzen nicht mehr ausreicht, war den Entwicklern jedoch bewusst, so dass hier dynamische Gestaltungsmöglichkeiten zusätzlich eingebaut wurden.

Eine Besonderheit des UMTS ist es, eine Kanalbündelung zu gestatten, d.h. einem einzelnen Nutzer werden mehrere logische Kanäle zugewiesen. Damit dieser nicht parallel mehrere CDMA Sequenzen empfangen muss, werden hier verkürzte Sequenzen verwendet.

Dadurch wird die Symboldauer reduziert und die Datenrate angehoben, damit dem so genannten "Power User" gegen eine entsprechende Gebühr eine höhere Datenrate angeboten werden kann.

Natürlich sinkt in gleichem Maß auch die Robustheit des Systems, so dass die erhöhte Datenrate nur bei Kanälen verfügbar ist, die eine hinreichend gute Qualität aufweisen.

Des weiteren ist diese Kanalbündelung nur in wenigen Schritten möglich, da auch die Störungen gegenüber den anderen Nutzern zunehmen und der Managementaufwand gewaltig ansteigt, da nur spezielle Kanäle zur Bündelung herangezogen werden können, die alle den neuen verkürzten Code enthalten.

Auch hier ist es so, dass das zugrunde liegende physikalische Symbol (das Chip) nicht verändert wird. Dieses wird mit einer speziellen Pulsformung optimal auf die Kanalbandbreite angepasst und nicht mehr verändert.

Allen beschriebenen Verfahren ist gemeinsam, dass sie das kleinste physikalische Symbol nicht verändern. In manchen Anwendungen wird dieses als Chip bezeichnet, in anderen als Datensymbol, das auch eine höherstufige Modulation aufweisen kann. Die Zeitdauer ist jedoch immer gleich.

Der Grund hierfür sind die heute üblichen Empfänger, bei denen eine Synchronisation auf den Symboltakt erfolgt, indem eine PLL einschwingt.

Neuartige „asynchrone Korrelationsempfänger" oder „software radios" sind an diese Beschränkung nicht mehr gebunden, so dass diese Systeme flexibler und wie nun gezeigt wird, auch effizienter arbeiten können.

Der zur Verfügung stehende Übertragungskanal kann theoretisch nach Shannon optimal genutzt werden, indem die Datenmenge

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

angegeben in Bit pro Sekunde fehlerfrei übertragen wird. Dieser Wert wird als Kanalkapazität bezeichnet und ist das eigentliche Gut, dass durch den Aufbau eines kabelgebundenen Netzwerkes oder den Erwerb einer Lizenz zur drahtlosen Kommunikation erworben wird. Die dazu notwendigen Investitionen erfordern es nun, die angebotene Kanalkapazität optimal zu nutzen, um damit wirtschaftlich arbeiten zu können.

Die Kanalkapazität von Shannon kann in der Praxis nicht erreicht werden, es lassen sich jedoch fundamentale Eigenschaften ablesen, die für das optimale Kanalmanagement unbedingt beachtet werden müssen.

Die Kanalkapazität hängt wesentlich von dem S/N ab, d.h. von der empfangenen Signalleistung bezogen auf die vorhandene Rauschleistung im Empfänger. Offensichtlich ist damit die Kanalkapazität keine feste Größe, die für eine Zelle oder ein lokales Netzwerk konstant ist, sondern eine dynamische Größe, die je nach Qualität des Übertragungskanals von Nutzer zu Nutzer starken Veränderungen unterworfen ist.

Diese fundamentale physikalische Eigenschaft widerspricht daher den heute üblichen Übertragungsmethoden, die allen Teilnehmern einer Zelle die gleiche Kanalkapazität zuweisen wollen.

Eine weitere fundamentale nachrichtentechnische Größe ist die Bitfehlerrate. In der obigen Formel von Shannon wird die Datenrate angegeben, die fehlerfrei übertragen werden kann. Die in der Praxis auftretenden Fehler müssen daher durch entsprechende Maßnahmen korrigiert werden, d.h. es muss Redundanz in den Datenstrom eingefügt werden, damit die Fehler erkannt werden können.

Die Bitfehlerrate hängt aber in entscheidendem Maße von der gewählten Modulation ab. Allgemein lässt sich immer der Zusammenhang zwischen Bitfehlerrate (BER) und der übertragenen Symbolenergie  $E_s$  bezogen auf die Rauschleistungsdichte  $N_0$  ableiten.

$$BER = f\left(\frac{E_s}{N_0}\right)$$



Der funktionale Zusammenhang ist dabei lediglich von der jeweiligen Modulation abhängig, und daher für das allgemeine Verständnis unbedeutend.

Die Aufgabe der Nachrichtentechnik könnte nun neu gefasst werden, indem einem beliebigen Teilnehmer innerhalb eines Netzes dynamisch die optimale Datenrate angeboten wird.

Aus den fundamentalen Ansätzen folgt damit, dass die gesendeten Symbole nicht starr sein dürfen, sie müssen dynamisch beim Sender verändert werden, so dass der betreffende Teilnehmer in Abhängigkeit von dem Übertragungskanal immer die gleiche Symbolenergie empfängt, so dass die Empfangsqualität gleich bleibt.

Das Ziel ist es daher, dem Teilnehmer eine konstante Qualität zuzusichern.

Die physikalischen Grundsätze ermöglichen dies in einem dynamischen Kanal aber nur dann, wenn die gesendeten Datensymbole dynamisch in der Energie angepasst werden, d.h. eine optimale Energiemodulation erfolgt.

Die erforderliche Energie des Symbols ist einfach ausgedrückt das Produkt aus Sendeleistung und Zeitdauer des Symbols.

In den meisten Fällen ist die maximale Sendeleistung beschränkt. Für die optimale Nutzung der Kanalkapazität, wie oben beschrieben, ist es zwingend erforderlich, diese auch zu nutzen. Das heute übliche Powermanagement ist daher kontraproduktiv.

Die Energiemodulation sollte daher anhand der Zeitdauer des Symbols erfolgen.

Fundamental ist in diesem Zusammenhang noch die Relation zwischen Bandbreite und Symboldauer. Dass die maximale Bandbreite durch kurze Symbole ausgeschöpft wird, ist hinreichend bekannt. Speziell gilt zum Beispiel für recht-

eckförmige Spektren, dass die Bandbreite durch si-Funktionen voll ausgefüllt wird.

$$si\left(\pi \cdot \frac{t}{T}\right) \circ - \bullet T \cdot rect\left(\frac{\omega}{2\pi/T}\right) \text{ Fourier-Transformierte}$$

$$\text{mit } si(x) = \sin(x)/x \quad \text{und} \quad rect(x) = \begin{cases} 1 & \text{für } |x| < 1/2 \\ 0 & \text{für } |x| > 1/2 \end{cases}$$

Damit ergibt sich im Basisband die einfache Beziehung zwischen Pulsdauer und Grenzfrequenz:

$$f_g = \frac{1}{2T}$$

wobei die Pulsdauer T den minimalen Abstand zwischen zwei Symbolen bezeichnet, der ohne Intersymbolinterferenzen möglich ist.

In aller Regel wird für die Übertragung zusätzlich eine Trägerfrequenz verwendet, so dass die übertragene Bandbreite B der doppelten Grenzfrequenz im Basisband entspricht ( $B=2f_g$ ).

Eine dynamische Energiemodulation auf der Basis der Symboldauer weist einige entscheidende Vorteile auf.

Betrachtet wird zunächst ein günstiger Fall, bei dem die Dämpfung zwischen Sender und Empfänger relativ klein ist. In diesem Fall steht dem entsprechenden Nutzer eine sehr große Kanalkapazität zur Verfügung, die optimal dadurch genutzt werden kann, dass, bezogen auf die vorhandene Bandbreite, die kürzesten Symbole verwendet werden und eine der Empfangsqualität entsprechende höherstufige Modulation angewendet wird.

Durch die Bereitstellung dieser hohen Kanalkapazität kann die angeforderte Datenmenge sehr schnell übertragen werden, so dass nachfolgend der physikalische Kanal einem oder mehreren Nutzern durch geeignete Multiplexing-Verfahren zur Verfügung steht. Günstig in diesem Zusammenhang ist natürlich ein TDMA, damit sich der entstehende Managementaufwand in Grenzen hält.

Im „worst case“ ist ein Nutzer vorhanden, dessen physikalischer Übertragungskanal eine sehr große Dämpfung aufweist, sei es durch eine große Entfernung oder durch „Fading“-Löcher, die durch Mehrwegeausbreitungen entstehen.

In diesem Fall ist die verfügbare Kanalkapazität sehr klein und die gesendete Symbolenergie muss sehr groß sein, d.h. es wird ein sehr langes Symbol ausgesendet. Zusätzlich sollte hier eine einfache Modulation gewählt werden.

Dass lange Symbole nicht zwangsläufig geringe Bandbreite bedeuten, zeigen Chirpsignale. Außerdem wäre es möglich die Symbole in der Frequenz zu spreizen und eine CDMA-Sequenz zu übertragen.

Günstig ist es ein FDMA zu überlagern, so dass die vorhandene Bandbreite geteilt wird und der angesprochene Nutzer nur einen kleinen Teil der Bandbreite zugewiesen bekommt, die mit der Länge des jeweiligen Datensymbols korrespondiert.

Dabei ist die bereits erläuterte Dynamik des Senders von entscheidender Bedeutung, da bei der Aufteilung in FDMA Kanäle, der oben angesprochene Fall mit guten Kanalbedingungen plötzlich eine geringere Bandbreite bekommt, und daher die optimalen Symbole etwas länger sind als die bisher verwendeten.

Entscheidend für die optimale Nutzung der Kanalressource ist dabei nicht, dass auch der „worst case“ eingehalten wird, sondern dass im „best case“ die maximal mögliche Datenrate übertragen wird und damit die Eigenschaften des Kanals optimal genutzt werden können. Damit ist es möglich, die Kanalkapazität des Netzes deutlich zu steigern.

Eine typische Anwendung für die oben beschriebene Energiemodulation, soll nun etwas detaillierter beschrieben werden. In allen drahtlosen Übertragungsverfahren tritt der Fall auf, dass die empfangene Energie pro Symbol annähernd quadratisch mit der Entfernung abnimmt.

Die minimale Energie, die für den sicheren Empfang der Symbole notwendig ist, hängt dagegen nur von der gewählten Modulation ab und ist daher konstant. Bei vorgegebener maximaler Sendeleistung ist damit der maximale Zellradius durch den Punkt B in der Figur 1 bestimmt.

Wird das Netzwerk nun anhand dieses „worst case“ dimensioniert, d.h. bezogen auf die Sendeleistung und das Linkbudget eine maximale Symboldauer bestimmt, die multipliziert mit der maximalen Sendeleistung die maximale Sendeleistung ergibt, so ist bei allen näher liegenden Nutzern die empfangene Energie und damit die Symboldauer zu groß.

In einem Powermanagement könnte nun die Sendeleistung heruntergeregt werden, so dass ein optimaler Zustand angenommen wird, doch dies bedeutet, dass die Kanalressource nicht voll genutzt wird.

In diesem Fall kann eine Energiemodulation vorteilhaft angewendet werden, indem die Symboldauer verkürzt wird. Damit wird eine deutlich höhere Datenrate realisiert und die Kanalbelegungszeit reduziert.

Auf diese Weise ist es möglich, für jeden Nutzer die optimale Symboldauer zu berechnen. Mit den einfachen Definitionen: empfangene Leistung  $S_{RX}$ , empfangene Symbolenergie  $E_{RX}(r)$ , geforderte minimale empfangene Symbolenergie  $E_{RX\_min}$ , Symboldauer  $T_{Symbol}$ , Entfernung  $r$ , Koeffizient für die Ausbreitung  $\alpha$  (typisch 2 bis 3), maximale Sendeleistung  $S_{TXmax}$ , und einem Normierungsfaktor, der die gewählte Modulation widerspiegelt  $k_m$ , lässt sich eine einfache Faustformel ableiten, die leicht auf die verwendete Modulation angepasst werden kann.

$$E_{RX}(r) = T_{Symbol} \cdot S_{RX} = T_{Symbol} \cdot \frac{S_{TX \max}}{r^a} \cdot k_m$$
$$\Rightarrow T_{Symbol \text{ _opt}} = \frac{E_{RX \text{ _min}} \cdot r^a}{k_m}$$

Diese dynamische Steuerung der Symboldauer in Abhängigkeit von der Empfangsqualität ist prinzipiell in jedem System möglich. Entscheidend ist jedoch die Frage nach der optimalen Nutzung der Bandbreite, da mit der dynamischen Symboldauer in der Regel gleichzeitig auch die Bandbreite des Symbols verändert wird.

Zum einen kann die jeweilige Bandbreite dynamisch geregelt werden, indem ein FDMA implementiert wird, bei dem die Bandbreite dynamisch nach den Anforderungen aufgeteilt wird. Die Realisierung eines solchen Verfahrens in Hardware ist sehr aufwendig und kompliziert. In einem "Software-radio" ist eine derartige dynamische Trennung dagegen realisierbar.

Des weiteren ist es möglich, bezogen auf die Bandbreite das kürzeste Symbol zu definieren (Chip), und durch eine Aneinanderreihung mehrerer dieser Chips die Datensymbole zu formen, indem bestimmte Sequenzen die Symbole repräsentieren. Die dynamische Energiemodulation wird dann mit einer Frequenzspreizung kombiniert. In diesem Fall ist die dynamische Veränderung der Symboldauer durch die verwendeten Chips quantisiert.

Im Besonderen eignen sich jedoch Chirpsignale für diese Anwendung, bei diesen kann zwischen der Frequenzspreizung und einer Zeitspreizung unterschieden werden, siehe Patent DE 199 37 706. Dabei erfolgt die Frequenzspreizung, indem die bezogen auf die Bandbreite kürzesten Impulse erzeugt werden und anschließend diese Impulse in der Zeitspreizung auf eine beliebige Dauer ausge dehnt werden. Diese Ausdehnung der Impulse kann dann dynamisch nach der erforderlichen Energie erfolgen.

Hohe Datenraten werden mit diesem Verfahren erzielt, indem die einzelnen Chirpsignale sich zeitlich gegenseitig überlagern. Die maximale Sendeleistung,

die ein Nutzer verwenden kann, wird daher aufgeteilt, so dass jedes Chirpsignal nur einen Bruchteil erhält, je nach dem Grad der Überlagerungen.

Dies ist möglich, da die Symbole im Empfänger auf kurze Impulse komprimiert werden, deren Maximum in den Nullstellen der anderen Impulse liegt. Diese si-förmigen Impulse spiegeln natürlich die verwendete Bandbreite wider.

Auch hier kann eine quantisierte Erhöhung der Symbolenergie erfolgen, indem immer weniger Symbole sich wechselseitig überlagern und damit die Leistung des einzelnen Symbols schrittweise erhöht wird, solange, bis keine Überlappung der Symbole mehr erfolgt. Die Folge hiervon ist, dass die komprimierten Impulse einen immer größeren Abstand zueinander aufweisen und mehrere Nullstellen leer bleiben.

Die dynamische Zuweisung der Symboldauer ist nach oben beschränkt durch die Bandbreite. Damit wird der kürzeste Impuls vorgegeben, der in der Modulation verwendet werden kann. Auf der anderen Seite besteht jedoch keine Beschränkung, d.h. die Symbole können auch extrem lang sein.

Dies soll noch einmal anhand der Abbildung 1 erläutert werden. Die heute üblichen Zellgrößen sind durch den Punkt B beschrieben, bei dem die Signale gerade noch empfangen werden können. Jenseits dieses Punktes ist in den klassischen Systemen kein Empfang mehr möglich. Für einen Nutzer, der nur wenig außerhalb der Zelle liegt, ist damit eine neue Zelle einzurichten. Dies kann speziell bei Wireless Local Loop (WLL)-Anordnungen sehr hohe Kosten verursachen.

In der hier beschriebenen Energiemodulation ist es möglich, auch diesen Nutzer noch von der gleichen Basisstation aus zu versorgen, indem die Symbole noch länger werden und damit mehr Energie tragen. Auf diese Weise erfolgt eine dynamische Ausdehnung der Zelle in einzelne Richtungen, an denen sich Nutzer befinden. Auch dies ist eine Besonderheit, die sich in anderen Kanalmanagement-Anwendungen nicht findet.

Die Erzeugung langer Symbole in einem Sender bereitet oft keine Schwierigkeiten. Im Empfänger dagegen kann es große Probleme bereiten, lange Symbole mit geringer Bandbreite zu empfangen, insbesondere wenn ein FDMA verwendet wird und die Frequenz genau getroffen werden muss.

In der Regel ist es hier günstiger, die Symbole zu spreizen und einen Korrelationsempfänger zu verwenden. Dies gilt gleichermaßen für CDMA Sequenzen wie auch für Chirpsignale.

Auch diese Empfängertypen entsprechen im Grunde dem klassischen „Matched Filter“, das zur optimalen Übertragung verwendet wird.

Aufgrund der dynamischen Energiemodulation und damit Symboldauer-Variation muss dieses Filter ebenfalls dynamisch angepasst werden. In einer Realisierung als „Software radio“ ist auch dieses möglich.

Wesentlich für die Anwendung der Energiemodulation ist noch die Unterscheidung von Basisstationen und Subscribern. Beschränkt sind für den Nachrichtenkanal in der Regel die Bandbreite und die Leistung. Für den Subscriber ist es daher möglich, die Datensymbole mit voller Leistung auszusenden und mit der entsprechenden Energiemodulation die optimale Symbollänge zu erzeugen. Das hierfür notwendige Frequenzband muss vorher von der Basisstation freigegeben werden, so dass sich die Nutzer untereinander nicht stören.

Im umgekehrten Fall ist dies nicht so leicht möglich, da die Aufspaltung des Kanals in einzelne Frequenzbänder gleichzeitig auch eine Aufteilung der maximalen Sendeleistung bedeutet, da die Summe aller Sendeleistungen über der Frequenz die maximale Leistung nicht überschreiten darf.

Die Energiemodulation erfordert daher eine mehrdimensionale Optimierung aller physikalischen Größen, die den Nachrichtenkanal definieren, die Zeitachse, die Frequenzachse und die maximale Sendeleistung.

Aufgrund der bekannten eindeutigen Verknüpfungen dieser physikalischen Größen untereinander ist es möglich, die optimale Energiemodulation dynamisch in

jedem Netzwerk zu berechnen und so eine maximale Kanalkapazität in einem Netzwerk zu realisieren.



### Ansprüche

1. Verfahren zum Übertragen von Symbolen von einem Sender zu einem Empfänger innerhalb eines Empfangsgebietes, dadurch gekennzeichnet, dass die Symbole sendeseitig einer empfangsindividuellen Energiemodulation unterzogen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweils bevorzugte Energiemodulation dynamisch dem Empfänger angepasst wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Energie pro gesendetes Symbol so ausgelegt ist, dass am Empfangsort eine hinreichende Symboldetektion möglich ist und die empfangene Energie pro Symbol von verschiedenen Empfängern im Wesentlichen gleich ist und diese empfangene Energie einen ersten Minimalwert übersteigt und einen zweiten Minimalwert unterschreitet.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Symbol, welches an einen ersten Empfänger gesendet wird, welcher innerhalb des Empfangsgebietes näher liegt als ein zweiter Empfänger, die Symboldauer gegenüber Symbolen, die an den zweiten Empfänger gesendet werden, verkürzt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die empfangene Symbolenergie im Wesentlichen ein Produkt aus der Symboldauer und der empfangenen Leistung pro Symbol ist und die empfangene Symbolenergie unabhängig von verschiedenen Empfängern innerhalb des Gebietes im Wesentlichen in einem vorbestimmten Bereich liegt.

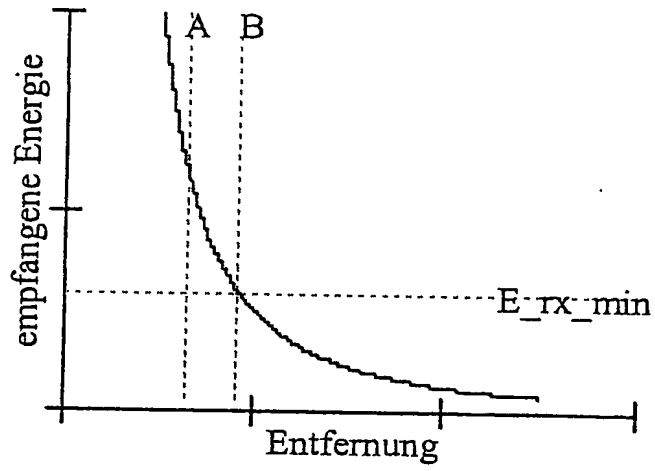
6. Verfahren nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet, dass die empfangene Symbolenergie berechnet  
wird nach der Formel  $E_{RX}(r) = T_{Symbol} \cdot S_{RX} = T_{Symbol} \cdot \frac{S_{TX \max}}{r^a} \cdot k_m$ .
7. Verfahren nach einem vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Symboldauer dynamisch gesteuert wird  
in Abhängigkeit von der Empfangsqualität.
8. Verfahren nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet, dass die dynamische Zuweisung der Symboldauer  
nach oben hin beschränkt ist durch die Bandbreite des Kanals, über den  
die Symbole übertragen werden.
9. Sender zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
10. Empfänger zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
11. Sende- und Empfangssystem zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

### Zusammenfassung

Die allgemeine Übertragungstechnik beschäftigt sich mit der Übertragung von Informationen von einer Nachrichten-Quelle zur Nachrichten-Senke. Das zur Übertragung verwendete Medium wird im allgemeinen als Kanal bezeichnet.

Mit den verschiedenen Multiplexing-Techniken wird nun versucht, die vorhandene Kanalkapazität auf die einzelnen Teilnehmer in einem LAN, WLAN, GSM-Netz, UMTS-Netz, Telefonnetz, usw. verteilt.

Verfahren zum Übertragen von Symbolen von einem Sender zu einem Empfänger innerhalb eines Empfangsgebietes, dadurch gekennzeichnet, dass die Symbole sendeseitig einer empfangsindividuellen Energiemodulation unterzogen werden.



Figur 1